

Patrimonio geológico y geodiversidad en terrenos kársticos en España

Geological heritage and geodiversity in Spanish karstic areas

LUIS CARCAVILLA¹, ÁNHEL BELMONTE², JUAN JOSÉ DURÁN¹, JERÓNIMO LÓPEZ-MARTÍNEZ³ Y PEDRO A. ROBLEDO⁴

¹ Instituto Geológico y Minero de España. C/Ríos Rosas 23, 28003, Madrid. E-mail: l.carcavilla@igme.es, jj.duran@igme.es

² IES Hermanos Argensola y Geoparque Mundial UNESCO de Sobrarbe. Avda. Ordesa 79, 22340, Boltaña (Huesca). E-mail: anhelbr@unizar.es

³ Universidad Autónoma de Madrid. Carretera de Colmenar, km 15, 28049, Madrid. E-mail: jeronimo.lopez@uam.es

⁴ Instituto Geológico y Minero de España. C/Ciudad Felicià Fuster 7, 07007 Palma de Mallorca. E-mail: pa.robledo@igme.es

Resumen España es un país en el que los terrenos kársticos poseen relevancia por su amplia distribución, variedad y grado de desarrollo. Además, al originar paisajes de gran interés ambiental y paisajístico, están bien reflejados en las redes de áreas protegidas de las comunidades autónomas. Por todo ello, los terrenos kársticos son un elemento destacado del patrimonio geológico español. En el presente artículo se revisa el papel que el karst juega en el patrimonio geológico desde la perspectiva de su gestión, resaltando aspectos relacionados con el inventario, protección legal, geoconservación y uso público. Por último, se repasan las características singulares que hacen relevante al patrimonio geológico de tipo kárstico en España y se describen algunos ejemplos representativos.

Palabras clave: España, geodiversidad, karst, patrimonio geológico.

Abstract *Due to their wide distribution, diversity and development degree, karstic areas are quite relevant in Spain. In addition, as they generate landscapes of great environmental and scenic interest, they are well represented in the regional protected areas network. Therefore, karstic areas are a conspicuous element within the Spanish geological heritage. In this paper, the role played by karst in the Spanish geoheritage is reviewed from a management point of view is, highlighting issues related to inventory, legal protection, geoconservation and public use. Finally, we take a look at some unique characteristics that make Spanish karstic geoheritage significant, and some representative examples are described.*

Key words: *Geodiversity, geological heritage, karst, Spain.*

INTRODUCCIÓN

En los últimos años ha ido ganando protagonismo en las Ciencias de la Tierra el término patrimonio geológico que, a pesar de que fue definido hace ya más de cuatro décadas, había tenido poca implantación en la comunidad científica. Del concepto de patrimonio geológico se deriva que los elementos geológicos forman parte del patrimonio natural y deben ser gestionados para asegurar su conservación y promover su aprovechamiento, porque constituyen un recurso en sí mismos (Carcavilla, 2014). Esto implica ampliar el concepto clásico de recurso geológico, entendido originalmente como un bien que el hombre extrae directamente de la Tierra para su aprovechamiento, con el fin de incluir también ele-

mentos y afloramientos geológicos que ofrecen bienes y servicios básicos para el desarrollo y bienestar social, incluyendo el conocimiento científico (Carcavilla, 2007; Carcavilla *et al.*, 2012). Esto incluye tanto elementos geológicos valiosos por ser soporte de biodiversidad, como los que tienen en sí mismos un valor que los hace singulares.

Por karst se entiende al conjunto de procesos, formas del terreno y paisajes relacionados con la disolución y precipitación de las rocas. El modelado kárstico es típico de aquellos lugares donde afloran rocas suficientemente solubles, como las calizas, dolomías o yesos, y donde la circulación del agua (superficial o subterránea) permite su disolución. Algunos de los paisajes más espectaculares y “famosos” de nuestro planeta correspon-

den con regiones kársticas: la bahía de Ha Long en Vietnam, las torres del río Li en China, los cenotes de México, los megalapiaces de Madagascar o el karst clásico de Eslovenia, por mencionar algunos ejemplos internacionales; o el Torcal de Antequera y la Ciudad Encantada de Cuenca, por citar tan solo dos casos españoles. Los relieves kársticos suelen ser irregulares, variados y con grandes contrastes. Además, la karstificación es un fenómeno que no se limita sólo a la superficie del terreno (exokarst), sino que su desarrollo en el subsuelo es tanto o más espectacular, originando cuevas y simas que forman un auténtico mundo subterráneo (endokarst). Todo ello contribuye a que el karst pueda poseer elementos que lo incluyan en el patrimonio geológico y lo suficientemente variados como para suponer un factor importante a tener en cuenta analizando la geodiversidad de un territorio.

En el presente artículo se repasa el papel que el karst juega en el patrimonio geológico español. Para ello, se sigue el esquema básico de los estudios de patrimonio geológico, basados en cuatro grandes temáticas: inventarios, normativa (o legislación), geoconservación *sensu stricto* y uso público. Al conjunto de estas cuatro acciones también se le denomina geoconservación (Carcavilla, 2012; Brilha, 2015).

LA GESTIÓN DEL PATRIMONIO GEOLÓGICO DE TIPO KÁRSTICO

Los terrenos kársticos tienen en muchos casos importantes valores y aplicaciones científicas, económicas, educativas, recreativas, estéticas y culturales. Las regiones kársticas son muy extensas y sobre ellas viven millones de personas en todo el mundo, por lo que la gestión del karst pasa por la identificación de áreas singulares que permitan poner en práctica modelos que compatibilicen conservación y desarrollo. El patrimonio geológico es la herramienta que permite la selección e identificación de esas áreas. De manera general, los criterios a los que se suele atender para valorar un macizo kárstico suelen ser el grado de desarrollo de morfologías y depósitos, variedad de los mismos, integridad del sistema e información proporcionada a la hora de reconstruir la historia geológica local y regional, así como del paisaje en relación con las condiciones climáticas y ambientales (Williams, 2008).

Las cuatro grandes temáticas o líneas de trabajo en patrimonio geológico pueden resumirse en un puzzle de cuatro piezas, que reflejan los ejes fundamentales de actuación que parten de un imprescindible buen conocimiento geológico del territorio (Carcavilla, 2012) (Fig. 1). La primera de estas piezas se refiere a la realización de inventarios. Es lógico que éste sea el primer paso, porque es imposible gestionar un recurso si no se sabe cómo es, dónde está y qué importancia tiene. La segunda pieza se refiere a la normativa y legislación. Contar con un marco legal que apoye y garantice la geoconservación es imprescindible. La educación y las buenas intenciones no suelen ser suficiente para garantizar la conservación de un lugar, por lo que conviene

que exista una normativa que regule su protección y gestión. La tercera pieza es la que podríamos llamar geoconservación *sensu stricto*, ya que se refiere a las actuaciones concretas. Es decir, una vez que se conoce la ubicación y relevancia del patrimonio geológico y se cuenta con herramientas legales para su protección, se debe aplicar ese marco legal y trabajar en hacer efectivas todas las acciones que aseguren la conservación del lugar. La cuarta y última pieza se refiere a las acciones referidas a la utilización del patrimonio geológico para el disfrute y beneficio de la sociedad, como la didáctica, la divulgación y el turismo.

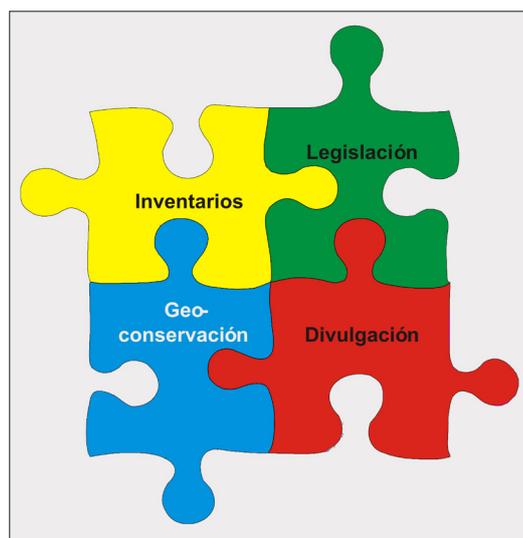


Fig. 1. Puzzle que reúne las cuatro principales acciones de la geoconservación.

Una vez identificados los lugares de interés geológico, se podría pretender garantizar su conservación a ultranza creando reservas integrales a las que nadie pudiera acceder. Sin embargo, el objetivo es que la población pueda disfrutarlos, emocionarse con la visita y crecer intelectualmente. Así que, como en todo patrimonio comunitario, la gestión del patrimonio geológico tiene dos objetivos intrínsecos: (1) asegurar la preservación de los bienes que lo constituyen, permitiendo su legado a generaciones venideras y (2) aprovechar su potencial y utilizarlo para el disfrute de la población, incluyendo la posibilidad de su utilización para promover el desarrollo socioeconómico de un territorio (Carcavilla, 2012). El primero de estos objetivos debe invariablemente cumplirse, sin embargo, el segundo sólo lo será cuando no entre en conflicto con el anterior y si realmente existe potencial para su aprovechamiento.

Para profundizar en conceptos metodológicos relacionados con el patrimonio geológico se recomienda consultar la abundante bibliografía existente (Cendrero, 2000; Brilha, 2005; Carcavilla *et al.*, 2007, 2012; Brocx y Semeniuk, 2007; Henriques, 2011; Carcavilla 2012, 2014; Gray, 2013;), incluido uno publicado en un número monográfico de la revista Enseñanza de las Ciencias de la Tierra referido al patrimonio geológico (Fernández-Martínez, 2014).

INVENTARIOS

El primer paso para cualquier estudio de patrimonio geológico es la realización de inventarios de los elementos que lo componen, es decir, la identificación y valoración de los lugares de interés geológico (LIG). Con ello, se identifica su ubicación y relevancia, lo que permite afrontar la interpretación de su significado e importancia dentro del contexto geológico y adoptar medidas adecuadas para su conservación y aprovechamiento. Por ello, los inventarios son útiles herramientas para la planificación territorial.

El karst en diversos inventarios españoles

Debido a su amplia distribución y gran desarrollo, el karst está presente en prácticamente todas las grandes unidades morfoestructurales españolas. Por ello, los elementos kársticos están incluidos en la gran mayoría de los inventarios de patrimonio geológico realizados en España. Sería difícil citar todos los inventarios que incluyen elementos de origen kárstico. Se repasa a continuación la participación del karst en inventarios o listados internacionales, y en el capítulo 7 se describen algunos de los kársticos más singulares de nuestro país.

El karst español en el Patrimonio Mundial

Debido a su interés geológico, ecológico y paisajístico, los paisajes kársticos suelen estar ampliamente representados en las redes de áreas naturales protegidas o incluso en los listados internacionales de patrimonio natural, como el listado de Patrimonio Mundial de la UNESCO. Éste incluye alrededor de 50 lugares de origen kárstico en todo el planeta (Hamilton-Smith, 2007; Williams, 2008), si bien algunos lo son por tener también otros valores asociados, como arte ru-

pestre o yacimientos paleontológicos. Esta amplia representación del karst en la lista del patrimonio mundial refleja la consideración que tiene la sociedad de estos paisajes.

El programa Patrimonio Mundial en su sección de naturaleza considera sólo aquellos lugares que posean una relevancia excepcional. Para ello, define diferentes categorías o tipologías de karst, de manera que sólo seleccionará el mejor de cada una de ellas para ser incluido en su listado. La clasificación realizada se basa en dos criterios diferentes: ambiente climático y litología en la que se desarrolla (Fig.2) (Williams, 2008).

La mayoría de los lugares kársticos incluidos en el listado de Patrimonio Mundial corresponde al clima húmedo templado, con enclaves tan singulares como el karst del sur de China, los lagos de Plitvice (Croacia), el macizo de Monte Perdido (España), el llamado "karst clásico" de Eslovenia o el mayor sistema subterráneo del planeta: la cueva Mammoth (EEUU), con más de 600 km de longitud de conductos. También adquieren relevancia los sistemas kársticos en ambiente húmedos tropicales. En él se incluyen lugares como el karst tropical de Lorentz (Indonesia), considerado el mayor espacio protegido del sureste asiático y caracterizado por el mejor ejemplo de karst tropical alpino con rasgos glaciares. Otros lugares como el karst de Canaima (Venezuela) desarrollado en cuarcitas y con cavidades de casi 11 km de recorrido, o la famosa bahía de Ha Long en Vietnam, están también incluidos dentro de la red de Patrimonio Mundial.

La clasificación de ambientes climáticos kársticos utilizada por el programa Patrimonio de la Humanidad también incluye los ambientes árido, semiárido, periglacial y glacial. Pero a día de hoy no se han declarado lugares representativos de todos estos am-

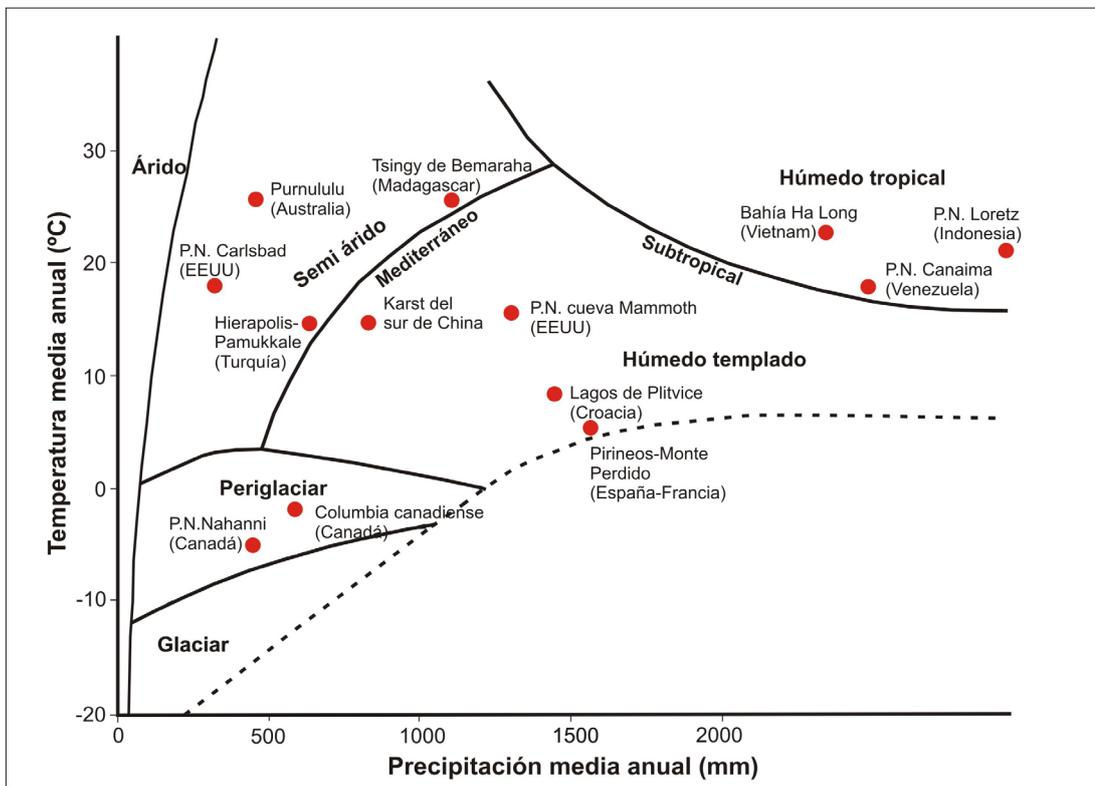


Fig. 2. Tipos de karst en función de los diferentes ambientes climáticos según la clasificación de la UNESCO, con la posición de algunos ejemplos citados en el texto (Williams, 2008).

bientes y su distribución territorial es muy desigual. Así, se reconoce que están poco representados los karsts de Sudamérica, África, Asia, Australia y Pacífico sur, así como los de Oriente Medio. Pero quizá lo más singular, desde la perspectiva española, es que tampoco están representados ejemplos de karst en litologías evaporíticas, de los cuales hay un excepcional ejemplo español, el karst de Sorbas (Almería), aunque también existen otros en diferentes lugares del mundo, como Egipto o el centro de Estados Unidos susceptibles de ser incluidos (Williams, 2008).

El único lugar español incluido en el listado de naturaleza del Patrimonio de la Humanidad por sus valores kársticos es el denominado Pirineos-Monte Perdido. Este lugar engloba el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, en la provincia de Huesca, y los circos de Gavarnie, Estaubé, Tromouse y Barroude en la parte francesa. Se caracteriza por la presencia de grandes montañas calcáreas, 22 de ellas por encima de los 3000 m s.n.m. fuertemente tectonizadas. Esto, unido a las elevadas precipitaciones anuales en forma de lluvia y nieve, configuran un marco muy favorable para el desarrollo de los procesos kársticos, tanto superficiales como subterráneos.

En superficie, el bien Pirineos-Monte Perdido muestra una gran profusión de lapiazes y dolinas de muy distintos tipos, así como depresiones glaciokársticas (García-Ruiz y Martí-Bono, 2001). En lo que al endokarst se refiere, existen extensos sistemas de cavidades con desarrollos verticales superiores a los mil metros y varias decenas de kilómetros de conductos. Asimismo, varias decenas de cavidades albergan espeleotemas de calcita así como depósitos de hielo subsuperficial (Belmonte, 2014). Resultan también de gran importancia sus barrancos fluviokársticos (Ortega Becerril y García Ruiz, 2010) y sistemas de surgencias.

El karst en los Geoparques de la UNESCO

El programa Geoparques, recientemente incluido en la estructura de la UNESCO, engloba a territorios que, con un rico patrimonio geológico de relevancia internacional, diseñan programas de desarrollo basado en ese y otros tipos de valores patrimoniales tanto naturales como culturales. En la actualidad existen más de un centenar de geoparques en el mundo repartidos por una treintena de países. Los geoparques también consideran acciones relacionadas con la conservación del patrimonio geológico en su territorio. Dentro de la Red Europea de Geoparques hay una buena representación de paisajes kársticos, fruto de lo cual se creó un grupo de trabajo de geoparques con desarrollo notable del karst en sus territorios.

En España, prácticamente todos los geoparques tienen manifestaciones kársticas de interés, aunque destacan por su profusión los de Sobrarbe (Huesca), Costa Vasca (Guipúzcoa), Sierras Subbéticas (Córdoba), Maestrazgo (Teruel), Molina-Alto Tajo (Guadalajara), Sierra Norte (Sevilla) y Cataluña Central (Barcelona). Fruto de la diversidad del karst español, la variedad de los terrenos kársticos presentes en los geoparques es muy amplia. Así, en el Geoparque de la Costa Vasca se trata de un karst desarrollado en un clima húmedo y bajo una amplia cobertura edáfica; en los geoparques de Sierra Norte, Sierras Subbéticas, Maestrazgo y Molina-Alto Tajo destaca la generación

de macroformas como macrolapiaces, campos de dolinas y cañones fluviales, además de un notable desarrollo endokárstico; y en el Geoparque de Cataluña central adquiere protagonismo el karst sobre rocas evaporíticas y conglomeráticas. En Sobrarbe, destacan tanto las formas superficiales propias del exokarst de alta montaña como los grandes sistemas de cavidades, depósitos de espeleotemas y hielo subsuperficial, así como los barrancos fluviokársticos.

El karst en el Proyecto Global Geosites

Las estrategias de protección del patrimonio geológico en el ámbito internacional requieren un inventario previo de los elementos que integran el Patrimonio Geológico Internacional. Por ello, la Unión Internacional de las Ciencias Geológicas (IUGS) con el co-patrocinio de la UNESCO, promovió hace años una ambiciosa iniciativa global para acometer este inventario: el proyecto Global Geosites. Resulta sencillo comprender la dificultad de establecer un inventario mundial de los elementos más sobresalientes del patrimonio geológico, teniendo en cuenta la complejidad del registro geológico de la Tierra y la gran diversidad de litologías, eventos, paleoambientes, y otros aspectos registrados, no sólo durante los tiempos geológicos, sino también en todo el planeta. Para ello, el proyecto Global Geosites diseñó una metodología de trabajo que no se dirigía directamente a la selección de los lugares de interés geológico, sino que planteaba un paso previo: elegir en cada país unos contextos geológicos en base a su especial significado en el registro geológico mundial (García Cortés *et al.*, 2000; García Cortés, 2008; Carcavilla *et al.*, 2011). En una fase posterior, para cada uno de estos contextos geológicos, se seleccionan los puntos de interés más representativos e ilustrativos del mismo. Este concepto clave de contexto se refiere a cualquier elemento geológico regional, evento tectónico, metalogenético o de cualquier otra naturaleza, serie estratigráfica, asociación paleobiológica, etc. Los lugares de interés geológico o "Geosites" no son por tanto seleccionados de forma aislada sino en el marco de un contexto previamente escogido por su trascendencia internacional. De este modo, la selección de los puntos de interés geológico se ve orientada y facilitada por su representatividad dentro del contexto geológico abordado.

En España, el proyecto Global Geosites identificó 21 contextos (20 en 2000 y uno más en 2015 fruto de su continua actualización) de los cuales uno se denomina "Sistemas kársticos en carbonatos y evaporitas de la Península Ibérica y Baleares" (Durán y Robledo, 2002; García-Cortés, 2008; Carcavilla y Palacio, 2011). Esto quiere decir que se considera que el karst es uno de los rasgos geológicos más significativos de nuestro país, con un grado de desarrollo que lo hace comparable a los más importantes del mundo. De manera concreta, los lugares que representan los ejemplos kársticos españoles incluidos en el proyecto Global Geosites en España son: la cueva de Nerja (Málaga), el Torcal de Antequera (Málaga), el karst en yesos de Sorbas (Almería), algunos sectores de Picos de Europa (Asturias, Cantabria y León), la ciudad Encantada de Cuenca, las lagunas de Ruidera (Albacete y Ciudad Real), el sistema kárstico de Ojo Guareña (Burgos), la cueva de Valporquero (León), el karst de la Serra de

Tramuntana (Mallorca), los sistemas kársticos del Levante de Mallorca y la cueva del Castañar (Cáceres). En la actualidad, se está trabajando en la candidatura de algunos otros lugares kársticos no incluidos en esa primera fase.

NORMATIVA Y LEGISLACIÓN

Existe un consenso internacional con respecto al alto valor científico y cultural de los paisajes kársticos. Esto provoca que muchos de ellos coincidan con áreas naturales protegidas, ya que a sus valores geológicos hay que sumar que suelen corresponder con áreas de alto valor ecológico y paisajístico.

En términos generales, las rocas carbonáticas, que son en las que se desarrollan la mayoría del karst, ocupan un 11% de la tierra continental libre de hielo (Hamilton-Smith, 2007). Por tanto, es reseñable que aunque el karst ocupe una extensión relativamente pequeña de la superficie terrestre, sea contemplado y adquiera tanto protagonismo en los convenios y programas internacionales que se describen a continuación. Aunque ninguno de ellos se refiere exclusivamente al karst, lo incluyen formando parte de elementos destacados de sus listados.

Convenios internacionales relacionados con la protección del karst

Hay varias convenciones o acuerdos internacionales para la protección de áreas que pueden incluir paisajes kársticos y cavidades:

- Convenio de Ramsar (1971): el 59% de los humedales españoles protegidos por este convenio se desarrollan en zonas kársticas.
- Convenio de París (1972) de Patrimonio de la Humanidad (*World Heritage*): ya mencionado anteriormente. Cuatro de los casi 50 bienes españoles de tipo natural, cultural o mixto am-

parados por este programa son de naturaleza eminentemente kárstica: cueva de Altamira y arte rupestre del Norte de España (cultural); Pirineos-Monte Perdido (mixto); arte rupestre del arco mediterráneo español (cultural) y Paisaje Cultural de la Sierra de Tramuntana (cultural).

- Programa *Man and Biosphere* (MAB) (1974), de Reservas de la Biosfera: casi una treintena de reservas de la biosfera españolas se desarrollan sobre terrenos kársticos.
- Red Natura 2000 de la Unión Europea: hay varios hábitats de protección especial incluidos en la Directiva Hábitats que se refieren a elementos geológicos de naturaleza kárstica. Fundamentalmente: “cuevas no habilitadas para el turismo” (Robledo *et al.*, 2009) y “Manantiales petrificantes con formación de tuf (*Cratoneurion*)”, entre otros (Carcavilla *et al.*, 2008).

Como curiosidad, solo dos lugares del mundo reúnen en su mismo territorio la que, de manera informal, se denomina la “triple corona de la UNESCO”, referida a que un mismo lugar posee el reconocimiento de las tres figuras de la UNESCO: Patrimonio de la Humanidad, Reserva de la Biosfera y Geoparque. Uno de ellos es la isla de Jeju, en Corea del Sur, y el otro es el Geoparque de Sobrarbe, en el Pirineo oscense.

Protección del karst en España

Al margen de los programas internacionales con utilidad para la protección del karst que han sido descritos con anterioridad, las leyes españolas de espacios protegidos y/o de conservación de la naturaleza contemplan la posibilidad de declarar áreas protegidas para garantizar la conservación de territorios de singular significación geológica. De hecho, son numerosos los espacios naturales protegidos españoles que incluyen un desarrollo notable del karst (Fig.3). En términos generales, se puede afirmar que el karst

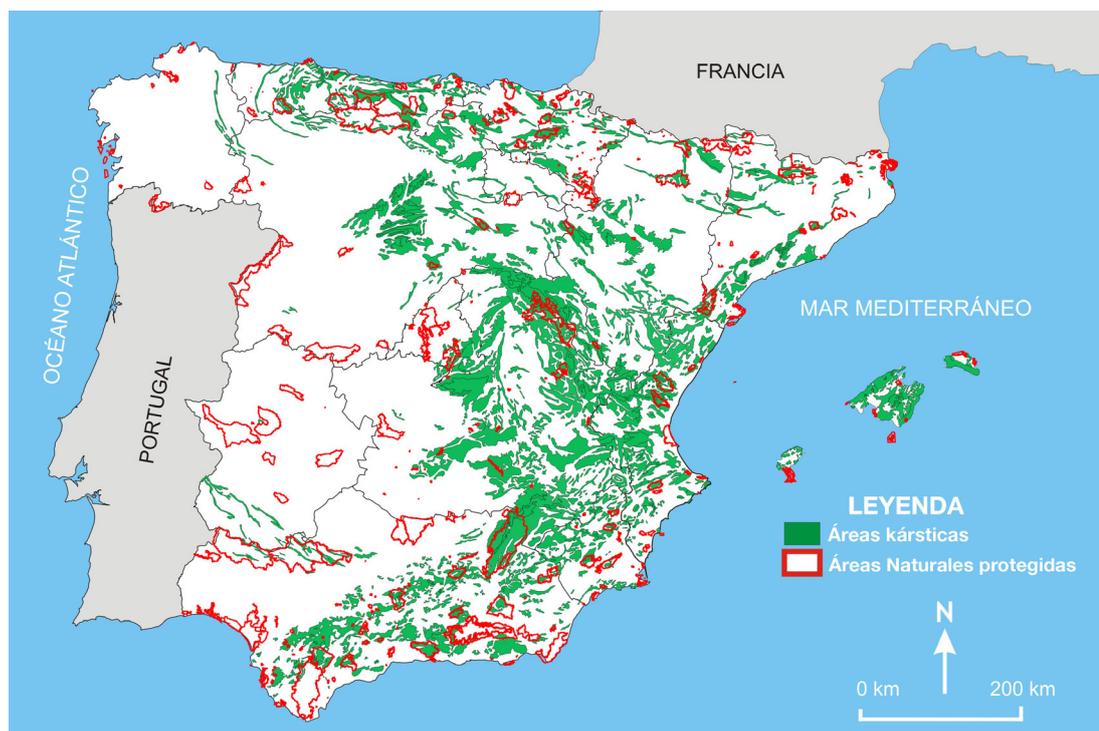


Fig. 3. Distribución del karst en España y áreas naturales protegidas. En verde: áreas kársticas. En rojo: áreas protegidas.

en España goza relativamente de un buen grado de protección legal, aunque sigue habiendo espacios de alta singularidad aún sin proteger y otros con figuras obsoletas o poco desarrolladas.

La protección del karst en España suele realizarse mediante alguna de las figuras de protección existente, especialmente las de Parque Nacional, Parque Natural (y Regional), Reserva Natural, Monumento Natural y Paisaje Protegido, utilizando como marco general la Ley 42/2007 de Patrimonio Natural y Biodiversidad y la posterior modificación 33/2015. Al margen de otras figuras de tipo autonómico, se podría decir que de las más de 500 áreas protegidas en España, alrededor del 40%, tienen representación significativa de karst. Pero un aspecto esencial es asumir que la protección de un área protegida no garantiza su adecuada gestión. Es necesario, además, que las herramientas de gestión de esas áreas protegidas contemplen la singularidad y particularidades del karst, para que sea bien gestionado y su conservación esté garantizada.

Además la citada Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad y la posterior Ley 33/2015 que la modifica, incluye en su anexo los principales dominios geológicos españoles que deben ser contemplados en las áreas protegidas, y uno de ellos son los sistemas kársticos. De manera que la Ley nacional insta a la protección de los relieves kársticos españoles. Por su parte, la Ley 4/2007 de Parques Nacionales y la Ley 30/2014 que la modifica, incluye un listado de los sistemas naturales españoles susceptibles de ser declarados parques nacionales. Uno de ellos son los "Sistemas Naturales singulares de origen kárstico". Así que esta ley también hace una mención especial al karst y le reconoce su singularidad dentro del patrimonio natural español.

GEOCONSERVACIÓN

La gestión del karst es compleja, ya que debe contemplar la afección a todos los condicionantes y agentes que participan en su formación y evolución, que incluye la litosfera, hidrosfera y atmósfera. A esto se suma que las regiones kársticas suelen ser áreas especialmente sensibles desde el punto de vista ambiental, siendo esencial garantizar la integridad del sistema, que incluye no sólo las morfologías y depósitos más singulares, sino el conjunto del sistema hidrológico además de los suelos y la vegetación, ya que una afección a cualquier elemento de este sistema puede afectar al resto de manera dramática. Las acciones de geoconservación más habituales se refieren a la identificación de amenazas para la conservación, declaración de áreas protegidas, restauración de áreas degradadas, actuaciones de protección física (vallados, cerramientos, etc.), evaluación de la fragilidad y vulnerabilidad de los lugares de interés geológico, instalación de sistemas de seguimiento y, sobre todo, al diseño de herramientas de planificación que establezcan un régimen de actuaciones que traten de armonizar la conservación del lugar con su desarrollo socioeconómico local (Carcavilla *et al.*, 2007).

La conservación de las zonas kársticas tiene varias particularidades que la hacen singular. En primer lugar, a veces es difícil delimitar los bordes de una región kárstica, que en muchos casos deben incluir la totalidad del sistema hidrológico e hidrogeológico relacionado, incluyendo el subsuelo. Otra singularidad es que muchas regiones kársticas son predominantemente planas y no tienen morfologías de gran desarrollo (al menos en superficie) y pueden ser de grandes dimensiones, por lo que debe tenerse precaución a realizar delimitaciones sólo basándose en este aspecto. En el subsuelo pueden crearse redes de drenaje aparentemente desconectadas con las superficiales, de manera que se produzcan descargas en cuencas hidrológicas diferentes a las que cabría esperar con las evidencias de superficie. Un ejemplo de este caso fue la declaración del Monumento Natural de la Hoz de Beteta y el Sumidero de Matasnos (Cuenca) en 2002, cuya delimitación incluyó no sólo el cañón fluviokárstico sino también la zona de infiltración que alimenta las surgencias que allí drenan.

Diversos usos del territorio suponen una amenaza para el karst. La explotación de las rocas karstificables, la industrialización, urbanización y otro tipo de modificación del terreno son los más evidentes. Pero también suponen una amenaza las modificaciones hidrológicas e hidrogeológicas, tanto en las redes de drenaje como en modificaciones del nivel freático, o la modificación de la calidad y composición de las aguas, ya que juegan un papel esencial en el desarrollo del karst. Los vertidos en los acuíferos y la sobreexplotación de los mismos son sólo dos ejemplos de ello (Pulido, 1993).

Con respecto a la restauración, destacan algunas realizadas con el fin último de habilitar los espacios kársticos degradados con fines turísticos y recreativos. Un ejemplo es la cueva de El Soplao (Cantabria), donde para la habilitación turística se realizó la restauración de diversas zonas degradadas por la actividad minera que tuvo lugar en dicha cavidad, lo que incluyó acciones de limpieza, restauración de espeleotemas, borrado de grafitis y eliminación de barro (Unzué *et al.*, 2011). Acciones de este tipo se han desarrollado en otras cavidades, como en Nerja (Garrido *et al.*, 2009), Pozalagua (Aja *et al.*, 2010) o Ardales (Durán *et al.*, 1998), entre muchas otras. Respecto a restauración de áreas exokársticas, destacan los ejemplos de los paleokarst del Cerro del Hierro (Sevilla, Geoparque de Sierra Norte) y de Cabárceno (Cantabria), donde se rehabilitaron las zonas que habían sido objeto de explotaciones mineras para crear un área natural en el primer caso y un parque de fauna salvaje en semilibertad en el segundo (Cueto, 2009).

Respecto a la valoración del estado de conservación y establecimiento de medidas para evitar la degradación, son numerosos los estudios realizados con el objetivo de analizar la vulnerabilidad de determinadas formaciones kársticas y las labores de seguimiento para controlar su evolución. Éstas se suelen referir a elementos endokársticos (p.ej. Andreu *et al.*, 2009; Calaforra *et al.*, 2009; Aramburu *et al.*, 2010) pero también existen ejemplos en relieves exokársticos (p.ej. García del Cura *et al.*, 1999; Carcavilla *et al.*, 2014; González *et al.*, 2014).

En relación con la creación de herramientas de planificación, existen diferentes ejemplos de planes de conservación y de ordenación de zonas kársticas, que atienden a su fragilidad y a los usos del territorio para proponer medidas de gestión concretas. (p.ej. Garrido, *et al.*, 2009; Martín-Duque *et al.*, 2010). La especial vulnerabilidad de algunos elementos de los macizos kársticos, en especial las morfologías delicadas o aquellas vinculadas a la circulación del agua, hace que estos territorios suelen requerir unas medidas de gestión específicas, como se describe en este tipo de planes y programas. Por ello, en algunos países como Australia, se han creado las “reservas para la conservación de áreas kársticas”, una figura de protección específica para amparar este tipo de territorios. Algunas de las asociaciones más importantes para la conservación de la naturaleza como la UICN (Unión Internacional de Conservación de la Naturaleza) han creado grupos de trabajo específicos para zonas kársticas. También se organizan reuniones y simposios específicos, como los *Euro Speleo Protection Symposium*, en muchos casos amparados por asociaciones espeleológicas como la *International Union of Speleology*. Además, se han editado manuales con propuestas para su gestión (p.ej. Watson *et al.*, 1997; Kuniansky, 2002) y creado asociaciones ligadas al karst que incluyen objetivos conservacionistas entre sus principios inspiradores, como la Asociación Internacional de Cuevas Turísticas (y su equivalente nacional ACTE), la Asociación Australoasiática para la Gestión del Karst y las Cuevas, o la Asociación Americana para la Conservación de las Cuevas.

USO PÚBLICO

Se refiere a las acciones centradas en la utilización del patrimonio geológico para el disfrute y beneficio de la sociedad, como la investigación, la didáctica, la divulgación, y el turismo. Las zonas kársticas tienen un enorme potencial en este sentido, debido a lo atractivo de los paisajes generados tanto sobre la superficie como en los sistemas subterráneos. Son innumerables los ejemplos de este tipo, describiéndose los más destacados de nuestro país en el siguiente epígrafe.

En general, los elementos kársticos tienen un enorme potencial para el turismo, debido a lo atractivo y singular de los paisajes generados, tanto sobre la superficie como en el subsuelo. Muchos países ofrecen dentro de su oferta turística en la visita a enclaves kársticos, como Vietnam (Krobicki *et al.*, 2006), Eslovenia, República Checa o China, entre muchos otros.

Sin embargo, en relación con el potencial turístico, hay que destacar la importancia de las cuevas turísticas de origen kárstico. En ellas se “sacrifica” una parte de la misma para acondicionarla al público, convirtiéndose en un producto turístico que puede suponer un motor de desarrollo local y regional de gran entidad (Robledo y Durán, 2014). Sirva como ejemplo que la cueva de Nerja (Málaga) tuvo en 2006 tantos visitantes como el conjunto de los 24 parques naturales andaluces (Carcavilla *et al.*,

2011). España actualmente posee una amplia oferta turística subterránea, y en total, reciben unos 5 millones de visitantes anuales, generando unos ingresos directos del orden de 45 a 50 millones de euros al año (Durán, 2006). Se estima que esta actividad proporciona trabajo directo a alrededor de 300 personas y que los ingresos indirectos (alojamiento, restaurantes, etc.) son del orden de 200 millones de euros anuales. Y eso que se calcula que, de la longitud total de las cavidades españolas conocidas, sólo está habilitada para el turismo el 0,5%. En estos casos, el acondicionamiento puede variar desde una habilitación total (incluida para discapacitados) como ocurre en El Soplao (Cantabria), hasta una mínima intervención para garantizar la seguridad del visitante y poco más (como la cueva de la Ramera, Cuenca). Entre ambos extremos existen muchas modalidades de acondicionamiento, por desgracia no siempre realizadas con el suficiente acierto, pero que han experimentado una notable mejoría en los últimos años, gracias a las mejoras técnicas y a una mayor sensibilidad hacia la fragilidad de estos entornos.

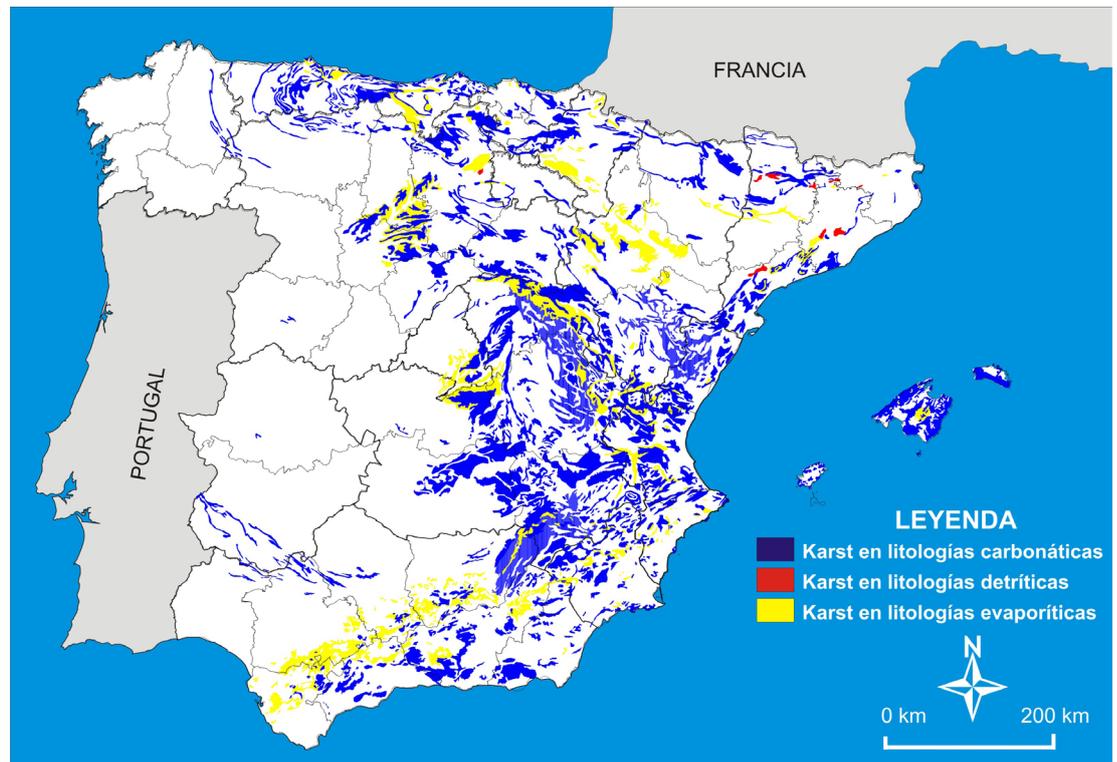
Existen numerosas publicaciones divulgativas sobre el karst, incluyendo folletos, libros (Durán *et al.*, 2003, 2006) y guías de campo (Carcavilla *et al.*, 2011). En cuanto a sus posibilidades didácticas, distan mucho de estar aprovechadas, si bien, existen experiencias interesantes como la de Adrados (2014) relativa al karst del litoral del oriente asturiano.

EL PATRIMONIO KÁRSTICO ESPAÑOL. TIPOLOGÍAS Y EJEMPLOS SIGNIFICATIVOS

Como se ha comentado, el modelado kárstico es uno de los rasgos geológicos más relevantes de la geología española, siendo especialmente frecuente y característico de amplias regiones del sur y la mitad oriental peninsular, y de las islas Baleares, donde afloran predominantemente materiales de naturaleza carbonática y evaporítica. Se calcula que aproximadamente el 30% de la superficie española (145.000 km²) está formada por materiales karstificables, de los cuales 110.000 km² corresponden a rocas carbonáticas fundamentalmente de edad mesozoica aunque también paleozoica y cenozoica, y unos 35.000 km² a sedimentos yesíferos de edad mesozoica y cenozoica (Fig. 4), como luego se verá con más detalle (Ayala *et al.*, 1986).

Es difícil identificar una muestra representativa del karst español siendo, precisamente lo más destacado, su diversidad. Existe una notable variedad litológica, un amplio intervalo cronoestratigráfico de las rocas karstificables, una importante variedad de formas desarrolladas (con una sustancial presencia de sistemas subterráneos) e incluso una notable variedad climática. Además, el karst está ampliamente desarrollado en todas las grandes unidades geológicas españolas excepto en Canarias. Aun así pueden identificarse unos sectores en los que el karst adquiere un especial desarrollo, como los de la cornisa Cantábrica, Pirineos, Cordillera Bética, Levante, Baleares y Sistema Central.

Fig.4. Distribución del karst en España. Basado en Ayala et al., 1986.



Tipologías del karst español en función de los condicionantes genéticos

Al repasar los ejemplos representativos del karst español, se revisan las características que condicionan su desarrollo y que establecen diferentes tipologías (Tabla I).

Un primer aspecto fundamental a la hora de clasificar el karst es la litología de las rocas sobre las que se desarrolla. Aunque en su mayoría tiene lugar sobre rocas carbonáticas, especialmente en aquellas con una pureza superior al 80% (Jennings, 1971), el karst también puede adquirir gran desarrollo sobre rocas evaporíticas. Incluso, bajo determinadas condiciones específicas, también se desarrolla sobre rocas mucho menos solubles como cuarcitas (p.ej. Macedo *et al.*, 1999; Wray, 2013), areniscas (Wray, 2013), gneises (p.ej. Armstrong *et al.*, 2013), basaltos (p.ej. Hayward *et al.*, 2011), cuarzo (p.ej. Vaquerio, 2003) o rocas graníticas (p.ej. Vidal Román, 1989; Willems *et al.*, 2002). En este sentido, conviene señalar que hay que distinguir los procesos de disolución que se pueden producir en estas rocas y que, debido a su baja solubilidad, requieren condiciones muy particulares (Piccini, 1995), de otros procesos que dan lugar a morfologías muy similares pero que no se deben a procesos de disolución sino a la meteorización física (termoclastia, desintegración, *pipping*, etc.) o química (hidrólisis, etc.) denominado pseudokarst, que incluye tanto formas erosivas como precipitados de muy diverso tipo (Striebel, 1996).

Con respecto a la litología, aunque en la mayoría de los casos el karst español se desarrolla sobre rocas carbonáticas, también adquieren especial significación los desarrollados sobre evaporitas. Estos últimos se sitúan en las Cordilleras Béticas, en la Depresión del Tajo y en la Depresión del Ebro

(Calaforra y Pulido, 1989) (Fig. 4). Con respecto a las primeras, destaca el caso de Sorbas (Almería), sin duda el más destacado de los karst en evaporitas de nuestro país, pero también son relevantes los ejemplos de Antequera (Málaga), Baena (Córdoba) y el levante español, entre las que destaca el caso de Vallada (Valencia), donde se sitúa la cavidad que en su día significó el mayor desnivel endokárstico en yesos del mundo. En la Cuenca del Tajo destacan los casos de Estremera (Madrid) y Jadraque (Guadalajara). Por último, los casos de la Cuenca del Ebro se sitúan fundamentalmente en Zaragoza, Huesca, Navarra y parte de Cataluña, como los casos de Barbastro (Huesca), Zaragoza, Estella (Navarra) o Beuda (Girona), entre muchos otros.

Algunos casos singulares son el desarrollo de karst sobre conglomerados calcáreos, como en el caso de Montserrat y Sant Llorenç de Munt (Barcelona), así como otros ejemplos de conglomerados con cementos carbonáticos situados fundamentalmente en el sector catalán de la depresión del Ebro (Fig. 4) y en el Pirineo oscense (Cuchí *et al.*, 2010). También existen ejemplos puntuales pero muy singulares de karst en rocas poco solubles como cuarcitas como el del puerto de Mestanza (Ciudad Real) debidos a la capacidad de disolución de las aguas hidrotermales relacionadas con la actividad volcánica del Campo de Calatrava (Gavilán *et al.*, 1999), o sobre rocas ultramáficas como en Cabo Ortegaleja (Jiménez Sánchez *et al.*, 1999) o incluso graníticas, también en Galicia (Vaqueiro Rodríguez, 2003).

En relación con la edad de las rocas karstificadas, la mayoría del karst español tiene lugar sobre rocas mesozoicas, especialmente del Jurásico y Cretácico. Pero también hay importantes ejemplos de karst sobre calizas paleozoicas, como los de Picos de Europa en calizas carboníferas, muchos casos del Pirineo desarrollados sobre rocas calcáreas devónicas y paleó-

genas, el karst en calizas precámbricas y cámbricas en el sur del Macizo Ibérico, o sobre calizas cenozoicas. Un caso aparte es el karst en evaporitas, cuya edad es, en su mayoría, del Paleoceno, Eoceno y Mioceno.

Otro factor esencial en el desarrollo del karst es el clima, en lo referente fundamentalmente a la humedad y la temperatura ambiente. La combinación de estos factores genera un gran abanico de ambientes climáticos en los que se desarrolla el karst, proporcionando matices particulares en cada uno de ellos en relación a las morfologías desarrolladas, variedad y complejidad. Por otro lado, para que la disolución y precipitación sean eficaces y el karst alcance un desarrollo importante también intervienen otros factores como la fracturación de las rocas, el relieve, la presencia de suelos o la densidad y tipo de vegetación.

En general, los mejores ejemplos kársticos se desarrollan en ambientes tropicales (como en Jamaica) o templados (como en España o Croacia) debido a unas condiciones más favorables. En el caso de los climas húmedos, el desarrollo del karst se ve favorecido por las grandes precipitaciones y por la alta producción de CO₂. El agua puede absorber grandes cantidades de dióxido de carbono, lo que agudiza su acidez, en especial en climas fríos y húmedos. Otro factor fundamental para el desarrollo del karst es la presión parcial de CO₂ en el suelo, que puede superar a la del aire en decenas e incluso centenares de veces, por lo que la presencia de suelos orgánicos es un factor fundamental para el desarrollo del karst. Aun así, el karst puede desarrollarse en regiones desprovistas de vegetación, como ocurre en muchas zonas áridas, de alta montaña o, incluso, en ambientes glaciares. En relación con este aspecto, no debe confundirse el karst desarrollado en el sustrato sobre el que se apoyan determinadas masas de hielo con las formas erosivas formadas sobre el propio hielo. Así, los glaciares también tienen cuevas, depresiones y colapsos, surgencias y sumideros, pero su desarrollo se debe a la fusión del hielo y no a la disolución de la roca. Por eso, se suele denominar pseudokarst glaciar. También en regiones frías pueden formarse en la superficie depresiones similares a las dolinas por la fusión del permafrost, en lo que se llama termokarst.

Según lo expuesto, desde el punto de vista climático, la mayoría del karst español corresponde a un clima húmedo templado, siguiendo la clasificación de la UNESCO. Pero también se dan casos de karst de climas fríos como el que se produce en sectores del Pirineo y de los Picos de Europa, donde la altitud de los macizos calcáreos que sufren la karsificación hace que predominen climas asimilables a los de otras latitudes. Un ejemplo es el conjunto de formas de disolución y precipitación ubicadas bajo el glaciar de Monte Perdido, cuya progresiva ablación las deja al descubierto.

Aspectos singulares del karst español. Ejemplos significativos

Como se ha mencionado, el interés del karst suele ir asociado a un tipo de paisaje muy particular y variado que, con frecuencia, posee un alto valor geoambiental. Sin embargo, el interés del karst va mucho más allá, puesto que su estudio puede proporcionar una valiosa información sobre la evolución geológica y climática de una zona, además de presentar un notable interés hidrogeológico, paleontológico, mineralógico y geotécnico, entre otros (Durán *et al.*, 1996; Pereira *et al.*, 2007). A continuación, se repasan algunos de sus aspectos más significativos.

Muchas zonas kársticas forman parte destacada del patrimonio geológico, ya sea en su conjunto o por la presencia de elementos singulares. Con respecto a la variedad de formas y depósitos generados, en el karst español existe una enorme diversidad de morfologías exokársticas y endokársticas, así como formas erosivas y de precipitación. Entre las primeras se encuentran los que sin duda son los mejores ejemplos de relieves ruñiformes de Europa occidental (Torcal de Antequera en Málaga y Ciudad Encantada de Cuenca), además de otros laplaces de espectacular desarrollo como el de Larra (Navarra), Serra de Tramuntana (isla de Mallorca) u Ordesa-Monte Perdido y Cotiella (Huesca). Están representadas también hoces y cañones de origen fluviokárstico (por ejemplo la Foz de Arbayún en Navarra, cañones de Guara en Huesca, Hoz de Beteta en Cuenca y la del Guadalorce en Málaga), así como dolinas, uvalas y poljes (torcas de Cuenca, Calar del

Tabla I. Principales variables que influyen en el desarrollo del karst o que pueden ser útiles para clasificarlo. En rojo los ejemplos existentes en España. En rojo y negrita los excepcionalmente bien desarrollados en España.

| AMBIENTE (Tª y HUMEDAD) | LITOLOGÍA | ACTIVIDAD | TIPO (EXO/ENDOKARST) | TIPO DE AGUA | EDAD DE LA ROCA | |
|-------------------------|---------------------|-----------------------------|--|--------------------------|---------------------|-----------|
| Árido | Carbonática | Paleokarst | Predominantemente exokárstico | Aguas meteóricas | Proterozoico | |
| Húmedo tropical | Dolomítica | Actual o subactual activo | Predominantemente endokárstico | Aguas meteóricas marinas | Paleozoico | |
| Húmedo templado | Silíceas | Actual o subactual inactivo | Ampliamente desarrollado tanto el exokarst como el endokarst | Aguas termales | Mesozoico | |
| Periglaciar | | | | Rocas ígneas | Aguas supratermales | Cenozoico |
| Glaciar | | | | Rocas volcánicas | | |
| | | | | Rocas metamórficas | | |
| | Rocas sedimentarias | | | | | |
| | Evaporítica | | | | | |

río Mundo en Albacete, las de Pozondón y Griegos en Teruel, Covalagua de Palencia o el polje de Zafarraya en Granada). Por otro lado, las formas de precipitación (aparte de los espeleotemas incluidos en las cavidades) están presentes en amplios sectores de la Cordillera Bética e Ibérica, fundamentalmente, donde el desarrollo de las tobas calcáreas tiene un espectacular desarrollo (Vázquez-Navarro *et al.*, 2014). Por citar sólo algunos ejemplos, destacan los edificios tobáceos del Alto Tajo (Guadalajara), Letur (Albacete), Monasterio de Piedra (Zaragoza), Chera (Valencia) o Ruidera (Albacete y Ciudad Real).

En relación con las formas y depósitos endokársticos, se calcula que existen en España alrededor de 10.000 cavidades de cierta envergadura, de las cuales 15 superan los 1000 m de profundidad, existiendo unos 100 sistemas kársticos que superan los 3 km de recorrido, y unas 150 simas superan los 300 m de profundidad (Puch, 1998). Incluso en España se sitúa uno de los complejos kársticos situados a más altitud de Europa, por encima de 3000 m de altitud en el P.N. de Ordesa y Monte Perdido (sistema Punta de las Olas-Fuen Blanca). También, existen interesantes ejemplos de pseudokarst en litologías volcánicas, con desarrollo tubos volcánicos en Canarias como la cueva del Viento en Tenerife.

El interés paleoclimático del karst se basa fundamentalmente en el estudio de los espeleotemas y sedimentos detríticos endokársticos, así como de las tobas calcáreas y travertinos. Estos depósitos y precipitados permiten realizar reconstrucciones de la evolución reciente del clima de la zona donde se encuentran. La posibilidad de datar, de manera relativa o absoluta la época de formación de los mismos y las condiciones en que lo hicieron, proporciona un alto valor paleoclimático, paleohidrológico y geomorfológico en general. Además, el análisis de algunos espeleotemas permite también realizar reconstrucciones de fluctuaciones eustáticas, proporcionando un registro relativo de las oscilaciones del nivel del mar en el momento de su precipitación. Por otro lado, y aunque no se trate de karst en sentido estricto, en algunas cavidades de ambientes fríos, ya sea debido a su posición latitudinal o a su altitud, puede acumularse hielo en su interior de manera permanente. Las masas de hielo contenidas en estas cuevas heladas proporcionan valiosa información paleoclimática que, combinada con dataciones radiométricas absolutas, permite hacer reconstrucciones ambientales y climáticas muy precisas (Perşoiu y Onac, 2012; Moreno *et al.*, 2013; Belmonte *et al.*, 2014).

El interés paleontológico del karst no se refiere al estudio de los fósiles contenidos en la roca que sufre la karstificación, sino a los restos orgánicos o de actividad orgánica conservados en los sedimentos y precipitados fruto de la actividad kárstica. Es importante recalcar que parte de la actividad de ciertos vertebrados, incluyendo el hombre prehistórico, se ha desarrollado o se desarrolla en ambientes kársticos utilizados como morada, refugio, lugar de habitación o desarrollo por lo que es relativamente frecuente encontrar restos arqueológicos y paleontológicos ligados al karst, ya sea en abrigos, cuevas, fisuras o dolinas (Arribas y Jordà, 1999). Por eso, numerosos yacimientos paleontológicos aso-

ciados al karst son, en realidad, acumulaciones debidas al transporte por organismos o por corrientes tras el desmantelamiento del depósito original. Este transporte puede llevar a una acumulación en zonas internas del propio sistema kárstico o, incluso, a zonas adyacentes superficiales. El análisis combinado de los sedimentos en los que se sitúan los hallazgos paleontológicos y arqueológicos, de los propios restos e industrias líticas y la utilización de sistemas de datación radiométrica, permiten realizar reconstrucciones muy completas de épocas pasadas. También es importante destacar la fosilización de organismos invertebrados y restos vegetales en otros contextos exokársticos como las tobas calcáreas, siendo elementos esenciales y útiles para su datación y para la realización de reconstrucciones paleoclimáticas (Sancho *et al.*, 2010; Rico-Herrero *et al.*, 2013). En este sentido, es de gran importancia científica el registro paleontológico del endokarst español. Algunos de los más importantes yacimientos paleontológicos españoles están situados en zonas kársticas: Atapuerca (Burgos), El Sidrón (Asturias) cueva de Nerja (Andalucía), cueva de la Garma (Cantabria) etc. Pero también posee interés arqueológico y artístico, ya que nuestros antepasados utilizaron las cavidades como cobijo, dejando en sus paredes magníficas representaciones de arte rupestre, como las de la cueva de Altamira (Cantabria), Ardales (Málaga) o la cueva de los Casares (Guadalajara).

Las particularidades de los procesos kársticos y los medios implicados (aire, suelos, sustrato, agua y biosfera) hacen de los macizos kársticos elementos destacados del patrimonio geológico que, a menudo, poseen otros valores ambientales como un tipo de vegetación específica y una fauna singular, exclusiva de estos ambientes, tanto endo como exokársticos. Por ello, las regiones kársticas suelen tener un gran interés ecológico. Así, en las regiones kársticas suelen generarse humedales de alto valor hidrogeológico, geomorfológico, sedimentológico y ecológico. Este tipo de humedales se instalan preferentemente sobre dolinas de disolución o sobre poljes relacionados directamente con la actividad exokárstica o sobre zonas deprimidas formadas o inducidas por el colapso de cavidades kársticas subterráneas (Durán *et al.*, 2009). En muchos de ellos se desarrollan frecuentemente represas de tobas calcáreas que aumentan la capacidad de la cubeta haciendo que pueda almacenar más agua. Debido a este origen, los humedales de tipo kárstico presentan formas subredondeadas, con profundidades variables y topografía de fondo irregular, en función de su relleno y de la ubicación del humedal. Los situados sobre morfologías kársticas funcionales suelen ser más profundos, mientras que los humedales emplazados sobre depresiones generadas por karst subyacente son, habitualmente, más someros, siendo esta prácticamente la única diferencia morfológica entre los humedales desarrollados en estos tipos de sustratos. Estos lagos o lagunas pueden evolucionar dependiendo de la impermeabilización del fondo y de las variaciones del nivel freático, llegando incluso a desaparecer o a quedar colgados dentro del sistema kárstico (Durán *et al.*, 2009). Además, también desde el punto de vista hidrogeológico, el abastecimiento urbano de numero-

Las poblaciones se realiza a través de captaciones de aguas subterráneas en acuíferos kársticos, como Málaga, Castellón de la Plana o Palma de Mallorca. También, existen notables ejemplos de manantiales kársticos singulares, muchos de ellos ligados al nacimiento de importantes ríos peninsulares (por ejemplo los ríos Ebro, Guadalquivir, Segura y Muro, entre otros).

El hombre ha utilizado los recursos del karst desde tiempos ancestrales, en muchos casos para la obtención de recursos naturales como agua, minerales, materiales de construcción, etc. En relación con éstos, el karst también puede tener un notable interés minero. Éste se basa en la explotación de la propia roca en la que se desarrolla el karst, que generalmente son calizas, dolomías y evaporitas. También tiene lugar la explotación como roca ornamental de los depósitos kársticos, algo que tiene tradición en España, si bien implica una destrucción del espeleotema y, por tanto, una pérdida de la información que puede proporcionar o de una parte del patrimonio geológico de la cavidad. Por otro lado, numerosas paragénesis se relacionan con el sistema deposicional kárstico. Estas se forman por la acumulación como residuo del propio proceso de disolución como resultado del enriquecimiento (en muchos casos relacionado también con procesos de disolución), por acumulaciones de minerales formados en otros ambientes, o a partir de ciertos fluidos que circulan por las discontinuidades o fracturas del macizo kárstico (Fernández-Rubio, 1989). Destacan algunos ejemplos de yacimientos minerales ligados al karst como los de El Soplao, Reocín o Cabárceno (Cantabria) y Mutilloa o Gallarta (País Vasco), de los que se ha extraído hierro, plomo y cinc originados por procesos de fracturación e hidrotermalismo ocurridos hace unos 100 Ma (Carcavilla y Palacio, 2011).

La espectacularidad y singularidad de los paisajes kársticos hace que con frecuencia sean importantes focos turísticos, especialmente las cavidades y zonas con paisajes ruñiformes, capaces de atraer miles de visitantes al año generando un importante recurso que puede impulsar el desarrollo local.

CONCLUSIONES

Los terrenos kársticos españoles son elementos destacados del patrimonio geológico, debido a la gran cantidad de elementos, sistemas y condicionantes implicados en su desarrollo. Es fundamental identificar qué elementos y paisajes kársticos forman parte del patrimonio geológico, especialmente en función de su singularidad y representatividad. Por otro lado, los sistemas kársticos son complejos de gestionar y, en muchos casos, poseen una alta vulnerabilidad. De manera general, los elementos y paisajes kársticos españoles están ampliamente representados en las redes de áreas protegidas autonómicas, y tienen una relevante presencia en diversos programas de conservación de la naturaleza de carácter nacional e internacional.

La característica principal que hace especialmente valiosos a los paisajes kársticos españoles desde el punto de vista del patrimonio geológico es su diversidad. Se desarrollan en gran variedad

de rocas y, aunque predominan en terrenos calizos y dolomíticos, también adquieren un desarrollo notable en conglomerados, areniscas calcáreas, mármoles y yesos, e incluso hay ejemplos puntuales en cuarcitas. La variedad también se refiere a la edad de las rocas afectadas por la karstificación en la Península Ibérica, existiendo ejemplos del Precámbrico, Paleozoico y Cenozoico. También los climas y ambientes en el que se desarrolla, con ejemplos que van desde el karst alta montaña (incluso por encima de los 3000 m de altitud), hasta el subtropical, litoral o en terrenos semiáridos. La variedad también es notable en cuanto a los resultados, con un amplio abanico de modelados superficiales y subterráneos. El exokarst español es muy variado, con gran diversidad de formas distribuidas fundamentalmente en el sur y la mitad oriental de la península Ibérica, y en las islas Baleares. Presenta asimismo gran desarrollo e interés el modelado endokárstico, con algunas de las cavidades más profundas del mundo y con sistemas de galerías que llegan a superar los 120 km de recorrido. En definitiva, el patrimonio geológico español de tipo kárstico es excepcional desde el punto de vista de la cantidad, variedad y calidad.

BIBLIOGRAFÍA

Adrados, L. (2014). Experiencia didáctica en un área de alto valor patrimonial: el karst litoral del oriente de Asturias. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 22.1, 49-60.

Aja, G., de la Hoz, I y Altuna, N. (2010). El plan de actuación y restauración del entorno de la Cueva de Pozalagua. En: Durán, J.J. y Carrasco, F. (Eds.). *Cuevas: patrimonio, naturaleza, cultura y turismo*, Asociación de cuevas turísticas españolas, 93-110.

Andreu, J.M., Cañaveras, J.C., Cuevas, J., García del Cura, M.A., Hernández, J.A., Muloz, M.C. y Soler, V. (2009). Caracterización microclimática de la Cueva del Canelobre (Alicante). En: Durán, J.J., Robledo, P.A. y Vázquez, J. (Eds.). *Cuevas turísticas: aportación al desarrollo sostenible*. Instituto Geológico y Minero de España. Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas 24, 105-114.

Aramburu, A., Vadillo, I., Damas, L., García-Garmilla, P., Iridoy, P., Arriolabengoa, M., Berreteaga, A. y Olaetxea, C., de la Hoz, I. y Altuna, N. (2010). Degradación de los espeleotemas de la Cueva de Praileaitz I. En: Durán, J.J. y Carrasco, F. (Eds.). *Cuevas: patrimonio, naturaleza, cultura y turismo*, Asociación de cuevas turísticas españolas, 93-110.

Armstrong, L., Osborne, R., Wasantha, Welinge, S., Jayasingha, P., Dandeniya, A.S., Prageeth, A.K., Algiriya, P., Ross, P. y Pogson, E. (2013). Caves and karst-like features in proterozoic gneiss and cambrian granite, southern and central Sri Lanka: an introduction. *Acta Carsologica*, 42.1, 25-48.

Arribas, A. y Jordá, J.F. (1999). Los mamíferos del Cuaternario kárstico de Guadalajara (Castilla-La Mancha, España). En: Aguirre, E. y Rábano, I. (Eds.). *La Huella del Pasado. Fósiles de Castilla-La Mancha, Patrimonio Histórico*. Arqueología Castilla-La Mancha, 327-353.

Ayala, F., Rodríguez, J.M., Del Val, J., Durán, J.J., Prieto, C. y Rubio, J. (1989). *Mapa del Karst de España a escala 1/1.000.000*. Instituto Geológico y Minero de España. 68 p. + 1 mapa.

Belmonte, A. (2014). *Geomorfología del macizo de Cotiella (Pirineo oscense): cartografía, evolución paleoambiental y dinámica actual*. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza. 580p.

- Belmonte-Ribas, A., Sancho, C., Moreno, A., López Martínez, J. and Bartolomé, M. (2014). Environmental dynamics in ice cave A294, Central Pyrenees, Spain. *Geografía Física e Dinámica Cuaternaria* 37, 131-140.
- Brilha, J. (2005). *Património geológico e geoconservação. A conservação da natureza na sua vertente geológica*. Universidade do Minho, 190 p.
- Brilha, J.B. (2015). Concept of Geoconservation. En: Editors: Tiess G., Majumder T., Cameron P. (Eds.). *Encyclopedia of Mineral and Energy Policy*, 1-2. Springer-Verlag.
- Brocx, M. y Semeniuk, V. (2007). Geoheritage and geoconservation. History, definition, scope and scale. *Journal of the Royal Society of Western Australia*, 90, 53-87.
- Calaforra, J.M. y Pulido, A. (1989). Principales sistemas kársticos en yesos en España. En: Durán, J.J. y López-Martínez, J. (Eds.). *El Karst en España*. Sociedad Española de Geomorfología, 277-294.
- Calaforra, J.M., Fernández-Cortés, Á., Gázquez-Parra, J.A. y Novas, N. (2009). *Conservando la cueva de El Soplo para el futuro: control de parámetros ambientales*. Consejería de Cultura, Turismo y Deporte del Gobierno de Cantabria, 52-57.
- Car cavilla, L. (2012). *Geoconservación*. Editorial La Catarata e Instituto Geológico y Minero de España, 126 p.
- Car cavilla, L. (2014). Guía práctica para entender el patrimonio geológico. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 22.1, 5 p.
- Car cavilla, L., Belmonte, Á., Durán, J.J. e Hilarío, A. (2011). Geoturismo: concepto y perspectivas en España. *Revista de Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19.1, 81-94.
- Car cavilla, L., Castanedo, M.; Durán, J.J., Lozano, R.P. y Robledo, P.A. (2011). *100 preguntas y respuestas sobre la cueva de El Soplo. Una guía curiosa y divertida de la cueva*. Instituto Geológico y Minero de España y Gobierno de Cantabria, 136 p.
- Car cavilla, L., De la Hera, A., Durán, J.J., Gracia, F.J., Pérez Alberti, A. y Robledo, P.A. (2008). El papel de la geología y la geomorfología en la Directiva Hábitats de la Unión Europea. En Benavente, J. y Gracia, F.J. (Eds.): *Trabajos de Geomorfología en España 2006-2008*. Sociedad Española de Geomorfología. Cádiz, 431-434.
- Car cavilla, L., Delvene, G., Díaz-Martínez, E., García-Cortés, Á., Lozano, G., Rábano, I., Sánchez, A. y Vegas, J. (2012). *Geodiversidad y patrimonio geológico*. Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Segunda edición, 22 p.
- Car cavilla, L., Durán, J.J., Vázquez, A. y Vázquez-Navarro, J. (2014). Patrimonio geomorfológico: conservación y gestión de los edificios y paisajes tobáceos. En: González J.A. y Amuchastegui, M.J. *Las tobas en España*. Sociedad Española de Geomorfología, 339-348.
- Car cavilla, L., López-Martínez, J. y Durán, J.J. (2007). *Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos*. Instituto Geológico y Minero de España. Serie Cuadernos del Museo Geominero, 7, Madrid, 360 p.
- Car cavilla, L. y Palacio, J. (2011). *Proyecto geosites: aportación española al patrimonio geológico mundial*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, 231 p.
- Carrasco, F., Andreo, B., Durán, J.J., Vadillo, I. y Liñán, C. (1998). La cueva de Nerja como elemento geológico de patrimonio natural andaluz. En Durán J.J. y Vallejo, M. (Eds.) *Comunicaciones de la IV Reunión de la Comisión de Patrimonio Geológico*. Sociedad Geológica de España, Madrid, 51-56.
- Cendrero, A. (2000). Patrimonio geológico: diagnóstico, clasificación y valoración. En: Palacio, J. (Ed.). *Jornadas sobre Patrimonio Geológico y Desarrollo Sostenible*. Serie Monografías. Ministerio de Medio Ambiente. Sociedad Española de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio, 23-38.
- Cuchí, J.A.; Villarroya, J.L. y Salameo, E. (2010). Los ríos en roca en el Parque Natural de la Sierra y Cañones de Guara. En: J.A. Ortega y J.J. Durán (Eds.). *Patrimonio geológico: Los ríos en roca de la Península Ibérica*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie Geología y Geofísica, 4, 249-267.
- Cueto, G.J. (2009). Reutilización turística del patrimonio minero de Cantabria. *Cuadernos de Turismo*, 23, 69-87.
- Durán, J.J. (Coord.). (2006). *Guía de las cuevas turísticas españolas*. Asociación de Cuevas turísticas Españolas e Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 104 p.
- Durán, J.J., Cantalejo, P., Espejo, M.M., Ramos Muñoz, J. y Vallejo, M. (1998). La Cueva de Ardales (Málaga, sur de España): un ejemplo de recuperación y gestión social del patrimonio natural e histórico. En: Durán J.J. y Vallejo, M. (Eds.) *Comunicaciones de la IV Reunión de la Comisión de Patrimonio Geológico*. Sociedad Geológica de España, Madrid, 65-68.
- Durán, J.J., Carrasco, B. y Rivas, A. (1999). Management of the underground geological patrimony: tourism and research; the example of the Nerja cave (Málaga, Spain). En: Baretino, D., Vallejo, M. y Gallego, E. (Eds.) *Towards the Balanced Management and Conservation of the Geological Heritage in the New Millenium*. Sociedad Geológica de España, Madrid, 367-373.
- Durán, J. J., Cuenca, J. y López Martínez, J. (1996). Un ejemplo de sistematización e inventario del Patrimonio Geológico: el Patrimonio kárstico de la provincia de Málaga. *Geogaceta*, 19, 224-227.
- Durán, J.J. y Durán, V. (2003). *Yo descubro el mundo subterráneo*. Instituto Geológico y Minero de España, 48 p.
- Durán, J.J., García de Domingo, A. y Robledo, P.A. (2009). Propuesta de clasificación genético-geológica de humedales. Aplicación a los humedales españoles incluidos en el Convenio de Ramsar. *Boletín Geológico y Minero*, 120.3, 335-346.
- Durán, J.J. y Robledo, P.A. (2002). Karst y Patrimonio Natural. En: Carrasco, F., Durán, J.J. y Andreo, B. (Eds.). *Karst and Environment*. Fundación Cueva de Nerja, Málaga, 261-266.
- Fernández Rubio, J.R. (1989). Minería y karst en España. En: Durán J.J. y López-Martínez, J. (Eds.). *El karst en España*. Sociedad Española de Geomorfología, 373-380.
- García-Ruiz, J.M. y Martí-Bono, C. (2001). *Mapa geomorfológico del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido*. Organismo Autónomo de Parques Nacionales, Serie Técnica. Madrid, 106 p.
- García Cortés, A. (Ed.) (2008). *Contextos Geológicos españoles: una aproximación al patrimonio geológico español de relevancia internacional*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 235 p.
- García Cortés, A., Baretino, D. y Gallego, E. (2000). Inventario y catalogación del patrimonio geológico español. Revisión histórica y propuestas de futuro. En: Baretino, D., Wimbledon, W.W.P. y Gallego, E. (Eds.). *Patrimonio geológico: conservación y gestión*. Instituto Tecnológico Geominero de España.
- García del Cura, M.J., González Martín, J.A. y Ordóñez, S. (1999). Conservation of an active fluvial tufa barrage system: Ruidera Lakes natural park (Castilla-La Mancha, Spain). En: Baretino, D., Vallejo, M. y Gallego, E. (Eds.). *Towards the Balanced Management and Conservation of the Geological Heritage in the New Millenium*. Sociedad Geológica de España, Madrid, 275-281.

- Garrido, A., del Rosa, Y. Liñán, C. y Montesino, A. Plan director de conservación de la Cueva de Nerja (Málaga). En: Durán, J.J. y López-Martínez, J. (2009). *Cuevas turísticas, cuevas vivas*. Asociación de Cuevas Turísticas Españolas, 295-304.
- Gavilán, C.J., Alonso, I. y Durán, J.J. (1999). Estudio preliminar de la Cueva de Castelar (Ciudad Real). Un ejemplo español de karst en cuarcitas. En: Andreo, B., Carrasco, F. y Durán, J.J. (Eds.) *Contribución al estudio de las cavidades kársticas al conocimiento geológico*. Patronato de la Cueva de Nerja, Nerja (Málaga), 101-110.
- González, J.A., Fidalgo, C., Arteaga, C., González, J.M. y Rubio, V. (2014). La degradación antrópica de los paisajes tobáceos. En: González J.A. y Amuchastegui, M.J. *Las tobas en España*. Sociedad Española de Geomorfología.
- Gray, M. (2013). *Geodiversity. Valuing and Conserving Abiotic Nature*. Wiley, 495 p.
- Hamilton-Smith, E. (2007). Karst and World Heritage Status. *Acta Carsologica*, 36.2, 291-302.
- Hayward, B.W. y Kenny, J.A. (2011). Karst in basalt. *Geoscience Society of New Zealand Newsletter* 3, 12-15.
- Henriques, M.H., Pena dos Reis, R., Brilha, J. y Mota, T. (2011). Geoconservation as an Emerging Geoscience. *Geoheritage* 3, 117-128.
- Jennings, J.N. (1971). *Karst. An introduction to systematic geomorphology*. MIT Press. Cambridge, 253 p.
- Jiménez Sánchez, M., Marcos, A. y Pérez, S. (1999). Microkarstic features in ultramafic rocks (Cabo Ortegal, Galicia, NW Spain). En: Baretino, D., Vallejo, M. y Gallego, E. (Eds.) *Towards the Balanced Management and Conservation of the Geological Heritage in the New Millennium*. Sociedad Geológica de España, Madrid, 242-247.
- Krobicki, M., Golonka, J., Pająk, J., Stomka, T. y Van Hung, N. (2006). Karst regions and processes in the north Vietnam and their geoturistic significance. *Geoturystyka-Geoturism* 1, 51-70.
- Kuniansky, E. L. (2002). *Conservation and Protection of Caves and Karst in the National Parks*. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 02-4174.
- Macedo Dutra, G.; Luiz Rubbioli, E. Y Senna Horta, L. (1999) Gruta do Centenário, Pico do Inficionado (Serra da Caraça), MG. A maior e mais profunda caverna quartzítica do mundo. *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*, 431-441.
- Martín-Duque, J.F., Caballero, J. y Carcavilla, L. (2010). Información geomorfológica útil para la ordenación de espacios naturales. El caso de Covalagua y Las Tuerces (Palencia). *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, 104, 1.4, 71-92.
- Moreno, A; Belmonte, A.; Bartolomé, M.; Sancho, C.; Oliva, B.; Stoll, H.; Edwards, L.R.; Cheng, H. y Hellstrom, J. (2013). Formación de espeleotemas em el noreste peninsular y su relación con las condiciones climáticas durante los últimos ciclos glaciares. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 39.1, 25-47.
- Ortega Becerril, J.A. y García Ruiz, J.M. (2010). Ríos en roca en los Pirineos. En J.A. Ortega y J.J. Durán (Eds.). *Patrimonio geológico: Los ríos en roca de la Península Ibérica*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie Geología y Geofísica, 4, 211-248.
- Pereira, P. Brilha, J., Pererira, D.I. (2007). Particularidades do patrimonio geológico em áreas cársicas. En Brandao, J.M., Sá, F. y Calado, C.(Eds.). *Actas del Simpósio Ibero-americano sobre Património Geológico, Arqueológico e Minero em Regiões Cársicas*, 25-26.
- Perşoiu, A. y Onac, B.P. (2012). Ice in caves. En: W.B. White, W.B. y Culver, D.C. (Ed.). *Encyclopedia of Caves*, Elsevier, 399-404.
- Piccini, L. (1995). Karst in siliceous rocks: karst landforms and caves in the Auyan-tepuy (Est. Bolívar, Venezuela). *International Journal of Speleology*, 24 Phys.,1.4, 41-45.
- Puch, C. (1998). *Grandes cuevas y simas de España*. Espeleoclub de Gracia, 794 p.
- Pulido, A. (1993). Sobreexplotación y contaminación de acuíferos. En Ortiz, R. (Ed.): *Problemática geoambiental y desarrollo*. V Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio, Murcia, 75-92.
- Rico-Herrero, M.; Sancho-Marcén, C.; Arenas-Abad, M.C.; Vázquez-Úrbez, M. y Valero-Garcés, B.L. (2013). El sistema de barreras tobáceas holocenas de Las Parras de Martín (Cordillera Ibérica, Teruel). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 39.1, 141-158.
- Robledo, P.A.; Durán, J.J., Garay, P. y Gracia, J. (2009). 8310 Cuevas no explotadas por el turismo. En: VV.AA., *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 53 p.
- Sancho, C.; Arenas, C.; Pardo, G.; Vázquez, M.; Hellstrom, J.; Ortiz, J.E.; Rhodes, E.J.; Osácar, M.C. y Auqué, L. (2010). Ensayo cronológico de las tobas cuaternarias del río Piedra (Cordillera Ibérica). *Geogaceta*, 48, 31-34.
- Striebel, T. (1996). The Genetic Classification of some Types of Non-Karstic Caves, *Proceeding of International Working Meeting "Preserving of Pseudokarst Caves"*, Rimavska Sobota (Slovakia), Salgotarjan (Hungary).
- Unzué, F., Manuel, A. y Argumosa, A. (2011). La recuperación de El Soplao. En: Durán, J.J. (Ed.). *El Soplao: una ventana a la ciencia subterránea*. Consejería de Cultura, Turismo y Deporte del Gobierno de Cantabria, 47-51.
- Vaqueiro Rodríguez, M. (2003). Caracterización de cavidades de bloques graníticos y cuevas estructurales de Vigo-Tui, (Galicia, España). Análisis morfoestructural del sistema de O Folón. *Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe Coruña*, 28, 231-262.
- Vázquez-Navarro, J., Vázquez, Á. y Carcavilla, L. (2014). Caracterización general y distribución espacial. En: González J.A. y Amuchastegui, M.J. *Las tobas en España*. Sociedad Española de Geomorfología, 104-118.
- Vidal Romani, J.R. (1989). Granite Geomorphology in Galicia (NW Spain). *Cuaderno Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, 13. Edicións O Castro. A Coruña.
- Watson, J., Hamilton-Smith, E., Gillieson, D. y Kiernan, K. (1997). *Guidelines for cave and karst protection*. UICN, 65 p.
- Willems, L, Ph. Compère, F. Hatert, A. Pouclet, J. P. Vicat, C. Ek. F. Boulvain. (2002). Karst in granitic rocks, South Cameroon: cave genesis and silica and taranakite speleothems. *Terra Nova*, 14, 355-362.
- Williams, P. (2008). *World Heritage Caves and Karst. A thematic Study*. IUCN Repport, 34 p. + 2 tables.
- Wray, R. (2013). Solutional Weathering and Karstic Landscapes on Quartz Sandstones and Quartzite. *Treatise on Geomorphology: Volume 6: Karst Geomorphology*, 463-483. Academic Press. San Diego. ■

Este artículo fue solicitado desde E.C.T. el día 2 de octubre de 2015 y aceptado definitivamente para su publicación el 12 de enero de 2016